

振荡脉冲磁场下的纳米磁性液体光双折射效应弛豫现象

龚 雁¹, 陆樟献², 王正才³

(1.宁波市眼科医院, 浙江 宁波 315040; 2.浙江万里学院 应用物理研究所, 浙江 宁波 315100;

3.宁波市职业技术学院, 浙江 宁波 315800)

摘要: 为研究水基纳米磁性液体在振荡脉冲磁场下的光双折射效应弛豫现象, 通过分析线偏振光经过水基纳米磁性液体薄片和检偏器后的光强随振荡脉冲磁场的变化情况, 结果表明: 水基磁性液体磁化主要取决于 Néel 弛豫效应, 而磁光效应(即双折射效应)由于受到磁性颗粒克服热运动、磁性颗粒相互排斥和基液粘滞力下的空间排列速度等因素的影响, 明显具有滞后现象。

关键词: 纳米磁性液体; 光双折射效应; 弛豫

中图分类号: O436.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 04-0088-04

纳米磁性液体是一种裹有表面活性剂或带电使纳米级磁性颗粒均匀分散于基液的稳定胶体, 一般为不透明黑色液体^[1], 当其厚度仅有微米厚时, 可以透射可见光。在外加磁场作用下, 磁性液体中的磁性颗粒在磁力作用下, 磁化、移动并聚集或排列成链型结构, 从而在光学上表现双折射、二向色性、色散和法拉第旋转等光学特性^[2-5], 但由于磁性液体为液体状态, 所以磁性液体的空间结构重构呈现为弛豫现象, 其中包括 Néel 弛豫和 Brownian 弛豫^[6-9]。磁性液体的弛豫现象一般通过磁化强度、电介质常数和光折射系数等参数的测量来衡量, 磁性液体光双折射效应的弛豫效应目前主要通过外磁场开关状态下的光双折射效应的弛豫反应速度来进行研究, 用 Néel 弛豫和 Brownian 弛豫来进行解释, 但理论和实验结果存在一定误差。实际上, 纳米磁性液体的弛豫现象是由多种因素交叉作用造成, 如磁性颗粒转向、热运动、磁性颗粒的平移、磁性颗粒链间的相互作用(有排斥也可能吸引)、基液粘滞力以及外磁力等情况, 其中还要考虑到磁性颗粒的惯性所引起的滞后。

本文拟通过磁性液体的光双折射系数在交变磁场下的响应来研究各个因素间的主次关系, 结果发现在磁场刚加上时, 主要是磁性颗粒的转向

和平移; 随着磁场增加, 磁性颗粒的转向降低, 平移起主要作用; 当磁性颗粒靠近时, 磁性颗粒的相互磁力发生作用, 离散颗粒向链状发展, 这时即使外磁场降低, 但由于磁性颗粒和磁链间的相互作用起主要作用, 加上颗粒运动的惯性, 颗粒继续向磁链状发展, 此时磁性液体的双折射现象进一步加强。随着外磁场的继续下降, 热运动和磁性颗粒的排斥力起到主要作用, 磁性液体的双折射效应开始减弱; 随着磁场的反向, 磁性液体的双折射进一步降低, 但此时主要是热运动起作用, 外磁场所起作用不是很大, 因此随着反向磁场的进一步增大, 磁性液体的双折射又进一步加强。

本文拟通过交变衰减磁场(亦即振荡脉冲磁场)下磁性液体的双折射弛豫现象, 研究磁性液体颗粒在外磁场下各因素的交替作用机理, 设计了磁性液体在脉冲磁场下磁致双折射效应弛豫效应的测量光路, 采用双光路以降低二向色性及光吸收等因素引起的测量误差, 并进一步测量了光透过比率在脉冲磁场中的变化情况。

1 实验

1.1 水基磁性液体样品的特征

实验用水基磁性液体的磁性颗粒采用化学共

沉淀法和超声分散技术制备, 油酸作为表面活性剂包裹, 制备出由 Fe_3O_4 和 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 颗粒混合的稳定水基磁性液体. 采用振动样品磁强计 VSM 测定水基磁性液体的磁滞回线(图 1), 透射电镜 TEM 对磁性颗粒的形状和大小进行测量(图 2), 最终用统计方法确定磁性颗粒平均大小约为 10 nm.

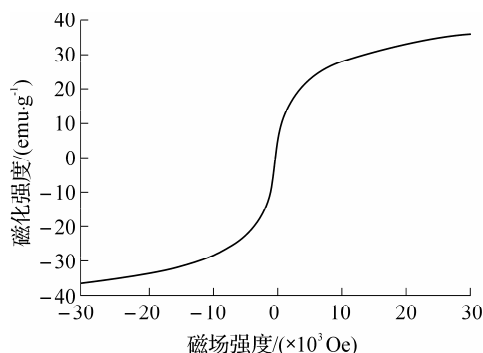


图1 磁化曲线图

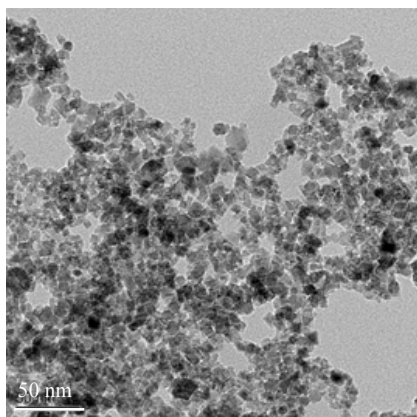


图2 透射电子显微镜

1.2 磁性液体薄片的双折射测量

实验测量布局如图 3 所示. 氦氖激光器产生一

束光, 经光分束器分成两束光. 一束光经起偏器入射到放置在磁场装置的参考磁性液体薄片, 然后直接由光电探测器进行光电转换, 由数据采集系统采集. 另一束光经起偏器入射到放置在磁场装置的样本磁性液体薄片, 通过检偏器后, 再由光电探测器进行光电转换, 由数据采集系统采集. 2 个磁场装置在薄片附近产生的磁场强度用高斯计测量, 数据亦由数据采集系统采集, 最终得到的 4 组数据输入计算机进行数据处理.

通过 2 个高斯计所测数据调整磁场装置, 使产生的磁场大小相同和变化同步. 调整 2 个光起偏器的起偏方向和磁场强度方向间的夹角为 45° , 检偏器和起偏器间的夹角为 90° , 并通过调节磁性液体薄片以减少由于磁性液体光吸收率的各向异性而造成的误差.

2 结果分析和讨论

脉冲磁场强度和时间的关系曲线如图 4 所示. 设磁场强度和时间的关系函数如下:

$$H(t) = H_0 e^{-\alpha t} \sin \frac{2\pi t}{T},$$

则通过图 4 可见, 磁场强度振幅 H_0 为 $2.94 \text{ MA} \cdot \text{m}^{-1}$, 脉冲宽度(即周期 T)为 $20 \mu\text{s}$, 衰变系数 α 约为 $0.052 \mu\text{s}^{-1}$.

水基磁性液体磁致双折射效应的光透过比率和时间关系曲线如图 5 所示. 从图 4 和图 5 比较可见, 水基磁性液体的光透过比率与磁场强度变化不同步, 光透过比率明显表现出滞后现象. 当 $t = 5 \mu\text{s}$ 时, 磁场强度达到最大值, 而光透过比率还没达

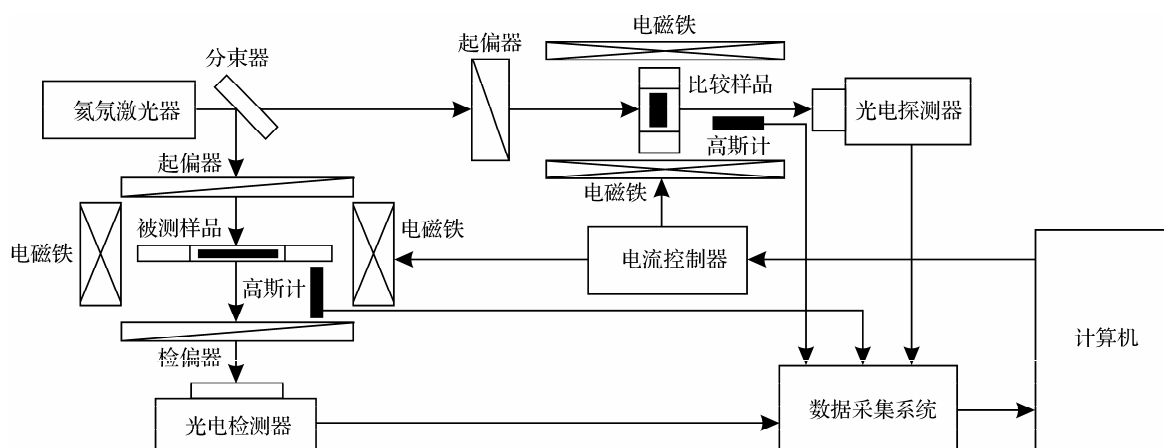


图3 实验布局图

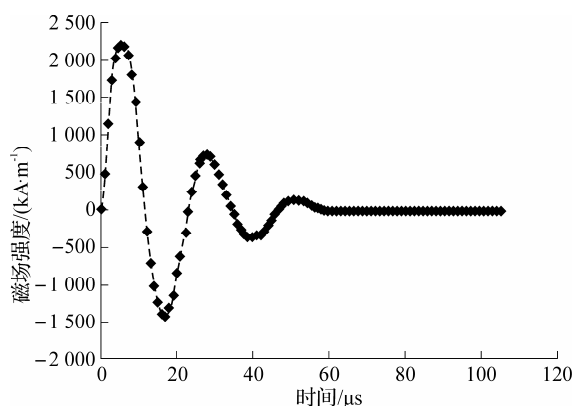


图4 振荡衰变磁场强度

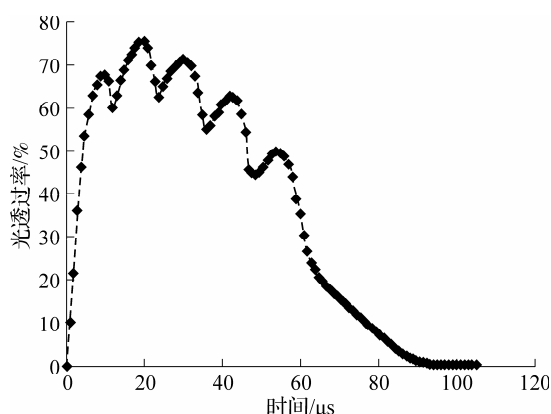


图5 输出光强比率

到最大;随着磁场强度变小,光透过比率并没有随着磁场强度降低而降低,反而继续增大。当 $t = 7 \mu\text{s}$ 时,光透过比率达到极大值,这是磁场强度处于下降过程,但还没有到达零值;接着光透过比率随着磁场下降而下降,当磁场强度方向反向且增大时,光透过率继续下降。在 $t = 12 \mu\text{s}$ 左右,磁场强度改变方向且达到一定值后,光透过比率再次增大,并且最终达到数值比第1次的极大值还大。这样来回振荡几次后,在脉冲磁场峰值降到一定值后,光透过率不再有增大趋势,随着磁场强度峰值趋向于零,光透过比率逐渐降低并趋向于零。

从光透过比率的起伏变化来看,在没有外磁场下,磁性颗粒在热运动和表面活性剂作用下,处于均匀弥散状态。随着小外磁场的加入,磁性颗粒的固有磁矩取向发生了变化,并产生一定的附加磁矩,磁性颗粒整体发生转动,如果磁性颗粒为球体,则只表现出磁化现象^[7],对光学性质几乎没有影响。随着外磁场增大,磁性颗粒的磁化增强,磁性颗粒类似于一个个小条形磁铁,则有些磁性颗

粒(小条形磁铁)头尾相连形成链条形,有些磁性颗粒相互吸引平行移动形成束形,也有些相互排斥并相互远离,表现出磁泳现象,磁性颗粒重新分布,磁性液体的光学性质也由各向同性变为各向异性,表现出光学双折射效应。当颗粒间距离到一定程度,颗粒间会因表面活性剂而产生的斥力,以及并排颗粒间相互排斥,阻碍磁性颗粒进一步靠拢,这就要求更强的磁场强度才能使磁性颗粒进一步聚拢。同样,当磁场强度低于一定值后,外磁场引起的磁力和颗粒间的磁力不足以克服热运动,磁性颗粒将开始分散,光学双折射效应就会降低。光学双折射效应不会马上消失是因为磁性颗粒的分离和分散都需要一定的时间,这就是磁性液体表现出弛豫现象的原因。但是磁性液体光学特性的弛豫现象和磁化的弛豫现象有所不同,磁性液体的磁化主要决定于颗粒的固有磁矩取向和附加磁矩的产生,与磁性颗粒的聚拢没有直接关系。而磁性液体的光学特性弛豫现象取决于磁性颗粒的聚拢程度,其中基液的粘滞系数^[10]以及磁场分布起着决定性作用。

3 结论

通过对水基磁性液体双折射现象的研究得出如下结论:

- (1)纳米磁性颗粒的磁矩取向对双折射效应所起作用可以忽略不计;
- (2)纳米磁性颗粒的聚拢成列是双折射效应的主要原因;
- (3)纳米磁性颗粒的聚拢需要克服热运动和粘滞力,从而表现出滞后效应。

从水基磁性液体磁致双折射效应的滞后现象来看,磁性颗粒在基液内移动需要克服粘滞力,当基液的粘滞系数增大时,滞后现象将更为突出,所以在考虑磁性液体在代替硅胶治疗视网膜脱落的使用上,需要考虑它的迟滞现象。

参考文献:

- [1] Scherer C, Figueiredo N A M. Ferrofluids: Properties and applications[J]. Brazilian Journal of Physics, 2005, 35 (3A):718-727.
- [2] 赵琳, 吴雪磊. 磁性液体薄膜磁光特性研究[J]. 设计与研发, 2015(22):23-25.

- [3] Haas W E L, Adams J E. Diffraction effects in ferrofluids [J]. Applied Physics Letters, 1975, 27(10):571-572.
- [4] Mailfert A J, Nahounou B. Dielectric behavior of a ferrofluid subjected to a uniform magnetic field[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1980, 16(2):254-257.
- [5] Xia S H, Wang J, Lu Z X, et al. Birefringence and magneto-optical properties in Oleic acid coated Fe_3O_4 nanoparticles: Application for optical switch[J]. International Journal of Nanoscience, 2011, 10(3):515-520.
- [6] Kötitz R, Fannin P C, Trahms L. Time domain study of Brownian and Néel relaxation in ferrofluids[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1995, 149(1/2):42-46.
- [7] Rogge H, Erbe M, Buzug T M, et al. Simulation of the magnetization dynamics of diluted ferrofluids in medical applications[J]. Biomedizinische Technik Biomedical Engineering, 2013, 58(6):601-609.
- [8] Maldonado-Camargo L, Torres-Diaz I, Chiu-Lam A, et al. Estimating the contribution of Brownian and Néel relaxation in a magnetic fluid through dynamic magnetic susceptibility measurements[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2016, 412:223-233.
- [9] Obeada C N, Malaescu I. The temperature effect on the combined Brownian and Néel relaxation process in a water-based magnetic fluid[J]. Physica B Condensed Matter, 2013, 424:69-72.
- [10] Ota S, Kitaguchi R, Takeda R, et al. Rotation of magnetization derived from Brownian relaxation in magnetic fluids of different viscosity evaluated by dynamic hysteresis measurements over a wide frequency range[J]. Nanomaterials, 2016, 6(9):170-180.

The relaxation phenomenon of the birefringence effects of magnetic fluid under the oscillatory pulsed magnetic field

GONG Yan¹, LU Zhang-xian², WANG Zheng-cai³

(1.Ningbo Eye Hospital, Ningbo 315040, China; 2.Institute of Applied Physics, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China; 3.Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, China)

Abstract: In this paper, the relaxation phenomenon of the birefringence effect of water-based magnetic fluid thin films in the oscillatory pulsed magnetic field are studied. The research is conducted focusing on the changing situation of the optical intensity of the linear polarized light via passing the water-based magnetic fluid and a light analyzer in the oscillatory pulsed magnetic field. The experiment results show that the magnetization of water-based magnetic fluid depends mainly on the Néel relaxation, but the magneto-optical birefringence effect is influenced by the spatial arrangement velocity of magnetic particles to overcome the thermal movement and the viscous force of water.

Key words: magnetic fluid; magneto-optic birefringence effect; relaxation

(责任编辑 章践立)